Capítulo

|2|

Fisiología del ojo

CONTENIDO DEL CAPITULO

La fisiología del ojo se ocupa de la función del ojo, sus capacidades y sus limitaciones. La percepción real de la luz tiene lugar en un área bien delimitada llamada*campo visual*. Lo que no se ve más allá de estos límites se cataloga y almacena en nuestro centro de memoria visual, de modo que esta imposición no nos incomode ni nos limite. La mayoría de los ojos no pueden formar una imagen nítida en la retina sin un ajuste interno realizado mediante el enfoque o mediante algún aparato externo, como lentes colocados delante de ellos. Hay un límite en la cantidad de detalles que el ojo puede resolver: su capacidad de aumento es de solo 15×,considerablemente menos que la mayoría de los microscopios. El espectro de luz al que son sensibles nuestros receptores retinianos se limita a longitudes de onda de luz específicas; el mundo de los rayos ultravioleta e infrarrojos es invisible a la percepción ordinaria.

A pesar de estas limitaciones, el ojo humano es un instrumento extremadamente versátil capaz de ver tanto de día como con poca luz, registrar colores, apreciar la profundidad y realizar rápidos ajustes de enfoque. Este capítulo trata de los mecanismos que permiten al ojo llevar a cabo estas tareas.

Alineación de los ojos.

En los seres humanos los dos ojos funcionan como si fueran uno, proyectándose ambos al mismo punto en el espacio y fusionando sus imágenes de modo que de esta colaboración se obtenga una única impresión mental. Sin este delicado equilibrio "veríamos doble" porque se formarían dos imágenes por la acción independiente de cada ojo. En otras palabras, se perdería la estereopsis porque esta facultad depende totalmente de que los ojos vean al unísono. La capacidad de los ojos para fusionar dos imágenes en una sola se llama *visión binocular*.

La visión binocular depende de un equilibrio exquisito entre la función motora y sensorial. Los ojos deben estar paralelos cuando miran al frente y deben poder mantener esta alineación cuando miran en otras posiciones. Cada impulso que dirige un ojo a moverse en una dirección debe ser recibido igualmente por el otro ojo. Además, la contracción de un músculo ocular que tira del ojo en una dirección debe ir acompañada de una cantidad equivalente de relajación del músculo oponente. Sin un movimiento ocular perfectamente armonioso, la visión binocular sería imposible porque los ojos que no se mueven juntos no ven juntos.

Cada ojo debe tener buena visión porque no se pueden fusionar una imagen clara y una imagen borrosa. El cerebro normalmente ignora la imagen borrosa (supresión). Cada mácula debe tener su proyección recta hacia adelante, de modo que la línea de visión de cada ojo se cruce en un punto del espacio. Además, el campo de visión de cada ojo debe superponerse (Figura 2.1). Aunque podemos ver más con dos ojos que con uno, esta diferencia no es grande (~35 grados) porque la mayor parte del campo de visión de un ojo se superpone al campo del otro ojo. Los campos visuales superpuestos actúan como un dispositivo de bloqueo, forjando nuestra visión periférica en su lugar y asegurando así la fusión central.

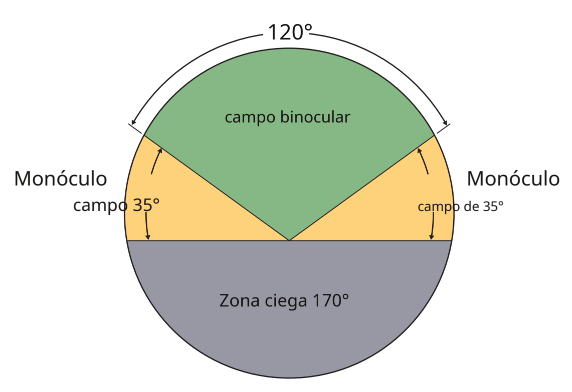


Figura 2.1 Campo visual. El campo de visión binocular (120 grados) representa el campo de visión superpuesto de cada ojo.

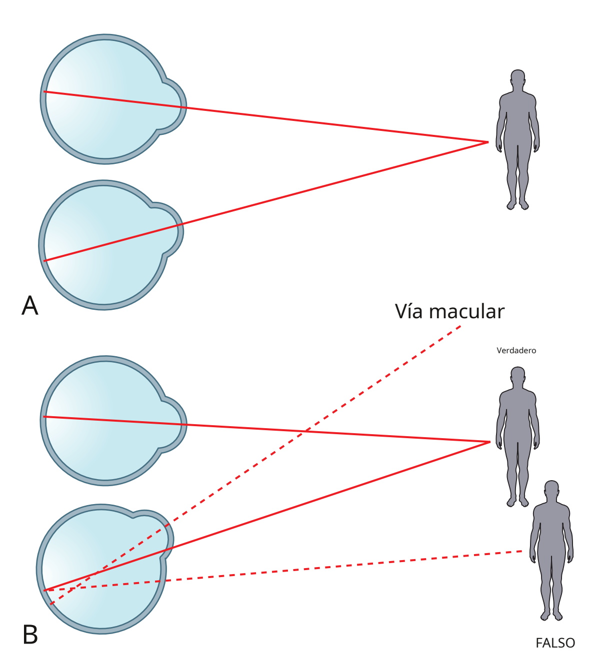


Figura 2.2(A) Visión binocular (ambos ojos mirando a la misma figura). (B) Un ojo está volteado hacia adentro, lo que produce visión doble. En este caso la figura la recibe la mácula de un ojo y un punto nasal a la mácula del ojo volteado. La proyección de este punto nasal hace que la persona vea dos imágenes en lugar de una de la misma figura. Este es un ejemplo de diplopía no cruzada, como se ve en las esodesviaciones.

Mirando al frente (fijación)

*Fijación*Implica la simple tarea de mirar de frente hacia un objeto en el espacio. La fijación requiere estabilidad de los ojos y una buena función monocular. Si los ojos se mueven constantemente, como ocurre con el nistagmo congénito (sacudida de los ojos), los ojos sólo pueden hacer movimientos de exploración alrededor de un objeto y nunca verlo adecuadamente en detalle. No hace falta decir que si la capacidad de fijación se ve comprometida por los movimientos oculares constantes, la agudeza visual de los ojos afectados se reduce. Si la mácula está dañada, la fijación es difícil porque cualquier cosa que se vea directamente delante queda envuelta en una relativa oscuridad.

La fijación se puede reducir sin cambios orgánicos en el ojo. Los niños con estrabismo a menudo tienen mala visión en el ojo girado. Si un niño tiene los ojos cruzados, pensaríamos que se produciría visión doble porque los dos ojos no estarían dirigidos al mismo punto del espacio (Figura 2.2). Los niños, sin embargo, tienen una maravillosa facultad de ignorar completamente la imagen del ojo vuelto para evitar confusión. Es este hábito constante de suprimir activamente la imagen en el ojo girado lo que eventualmente conduce a la pérdida de visión o ambliopía. En algunos de estos niños, en quienes el mecanismo de supresión se ha vuelto profundo y la visión resultante muy pobre, la función foveal se deprime tanto que se utiliza un nuevo punto justo fuera de la fóvea. Un ojo así ya no puede ver de frente y el patrón de fijación se describe como*excéntrico*.

Bloqueo de imágenes (fusión)

*Fusión*es el poder que ejercen ambos ojos para mantener la posición de los ojos alineada de modo que ambas fóveas se proyecten al mismo punto en el espacio. Debido a que la fusión es un acto binocular, es fácilmente interrumpido cubriéndose un ojo. El ojo cubierto se desplaza hasta su posición libre de fusión. La cantidad de movimiento que realiza el ojo es una medida del desequilibrio muscular latente que se mantiene bajo control mediante la fusión, o la cantidad de heteroforia.*heteroforia*Entonces, puede definirse como la posición que adoptan los ojos cuando se interrumpe la fusión. El ojo cubierto puede hundirse, lo que se denomina*esoforia*, o quedarse a la deriva, llamado *exoforia*. El ojo también puede moverse hacia arriba y hacia abajo; esta posición se llama*hiperforia*. La fusión también puede interrumpirse colocando una varilla de Maddox delante de un ojo. La varilla Maddox cambia el tamaño y la forma de la imagen presentada al ojo cubierto de modo que la fusión se vuelve imposible.

El poder de fusión se puede medir mediante prismas (verCap. 3). Por ejemplo, se coloca un prisma de cuatro dioptrías con la base hacia la nariz de un observador que mira una letra minúscula colocada a 40 cm (16 pulgadas) del ojo. El prisma desplazará la imagen ante ese ojo en dirección hacia su vértice y el ojo se moverá hacia afuera para seguirla debido al poder ejercido por el reflejo fusional (Figura 2.3A). Ahora se retira el prisma y el ojo descubierto vuelve a su posición original en respuesta al reflejo fusional (Figura 2.3B). Normalmente, mediante convergencia fusional se pueden ejercer de 20 a 40 dioptrías prismáticas. La cantidad de fusión ejercida con

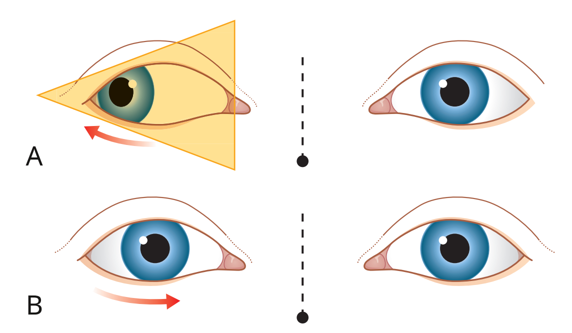


Figura 2.3(A) El prisma desplaza la imagen hacia su vértice y el ojo se mueve hacia afuera debido al reflejo fusional. (B) Cuando se retira el prisma, el ojo vuelve a su posición original debido al reflejo fusional.

con respecto a la divergencia es menor, siendo sólo de 10 a 20 dioptrías prismáticas. Esto se mide utilizando prismas de base hacia afuera. Los desequilibrios verticales son difíciles de superar porque nuestros ojos sólo pueden superar entre 2 y 4 dioptrías prismáticas.

Movimientos oculares

El*primario*La posición de los ojos es la posición recta mientras miran a un punto justo debajo del horizonte con la cabeza erguida. El movimiento del ojo desde la posición primaria a una posición secundaria ocurre cuando los ojos se mueven horizontal o verticalmente. Si los ojos están dirigidos en posición oblicua (arriba y adentro o abajo y adentro), se dice que están en posición terciaria.

- El movimiento de un ojo de una posición a otra en una dirección se llama*ducción*. En inducción, el compañero el ojo está cubierto o parcheado. El movimiento de dos ojos en la misma dirección se llama*versión* (dextro-, levo-, sursum- y deorsumversion) (Figura 2.4).
- Ojos a la derecha: dextroversión
- Ojos izquierdos: levoversión
- Ojos arriba: sursumversion
- Ojos abajo: deorsumversion

Un resumen de las funciones de los músculos extraoculares se da enTabla 2.1. Los músculos rectos medial y lateral tienen una sola acción: mover el ojo horizontalmente. Los otros cuatro músculos del ojo tienen funciones auxiliares.

Tabla 2.1 Acciones de los músculos extraoculares.

Músculo	acción principal	Secundario acción
Medio recto	Vuelve el ojo hacia adentro, hacia la nariz o aduce el ojo.	Ninguno
Lateral recto	Gira el ojo hacia las sienes o abduce el ojo.	Ninguno
Superior recto	Eleva el ojo	Intorsión Aducción
Inferior recto	Deprime el ojo	Extorsión Aducción
Superior oblicuo	Intorsiona el ojo	Depresión Secuestro
Inferior oblicuo	Extorsiona el ojo	Elevación Secuestro

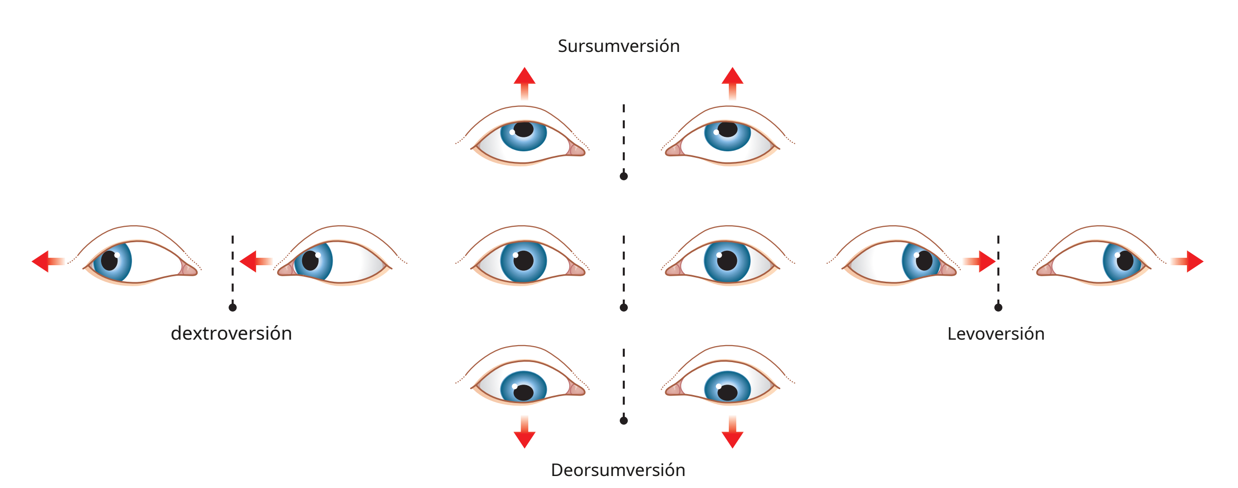


Figura 2.4Versión de movimientos de los ojos o movimientos formados por ambos ojos trabajando juntos.

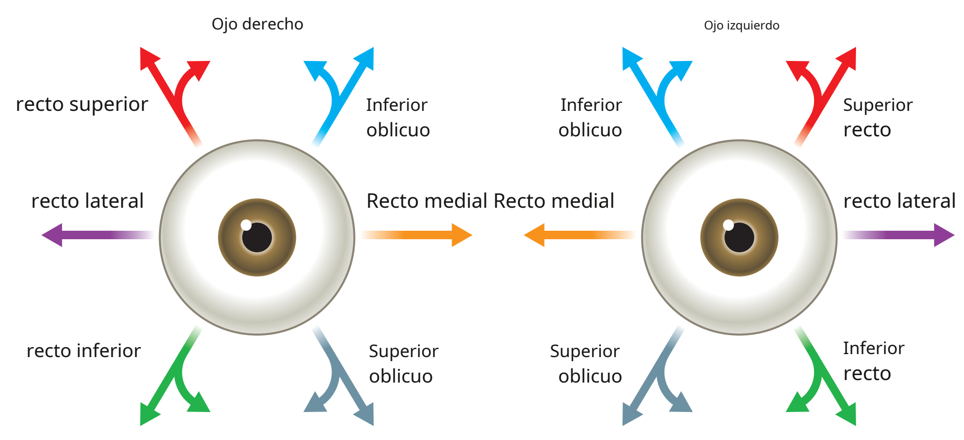


Figura 2.5 Acción de los músculos extraoculares. El*flechas*revelan que los músculos rectos superior e inferior funcionan mejor como elevador y depresor, respectivamente, cuando el ojo está en abducción. Los músculos oblicuos inferior y superior funcionan mejor como elevador y depresor, respectivamente, cuando el ojo está en aducción.

Cuando se utilizan estas funciones secundarias, ayudando a los músculos rectos lateral o medial a abducir o aducir, estos músculos se denominan*sinergistas*(Figura 2.5).

La función principal de los músculos oblicuos es rotar el globo hacia adentro*(intorsión)*o hacia afuera*(extorsión)*. La intorsión ocurre cuando el ojo gira sobre su eje longitudinal de modo que la posición de las 12 en punto en la córnea se mueve hacia la nariz. Por ejemplo, si un punto de la córnea del ojo derecho se mueve hacia adentro de las 12 a la 1 en punto, se dice que la intorsión ocurre debido a la acción primaria del músculo oblicuo superior derecho o a la acción secundaria del músculo recto superior derecho. De manera similar, si el punto de la córnea derecha se mueve hacia afuera de las 12 a las 11 en punto, se dice que la extorsión ocurre debido a la acción primaria del músculo oblicuo inferior derecho o a la acción secundaria del músculo recto inferior derecho.

Centros de control de los movimientos oculares.

Los ojos se mueven en respuesta a nuestra propia voluntad o de manera pasiva, como al seguir un objetivo que se mueve lentamente. Los movimientos oculares voluntarios suelen ser rápidos, comienzan a gran velocidad y terminan con la misma brusquedad. Estos movimientos ocurren durante la lectura, cuando las palabras o frases se escanean rápidamente, con una parada abrupta al final de una sección o línea. Estos movimientos oculares voluntarios se controlan desde centros en el lóbulo frontal del cerebro.

Mientras que los movimientos oculares voluntarios tienden a ser cortos y entrecortados, los movimientos oculares de seguimiento o persecución son más bien lentos, suaves y deslizantes. La velocidad de un movimiento posterior depende completamente de la velocidad del objeto que el ojo sigue. Si la fóvea se fija en un objetivo en movimiento con una velocidad angular (<30 grados por segundo), el ojo sigue al objetivo casi exactamente. A mayor velocidad, seguir el movimiento se vuelve difícil y el movimiento suave y deslizante se reemplaza por un movimiento irregular y entrecortado. Los movimientos de persecución se controlan desde centros en el lóbulo occipital del cerebro.

Mirando hacia un objeto cercano

*vergencia*es el término que se aplica a los movimientos oculares simultáneos en los que los ojos se dirigen a un objeto en la línea media frente a la cara. El término suele aplicarse a *convergencia*, en el que los ojos giran hacia adentro uno hacia el otro, o para *divergencia*, en el que giran hacia afuera simultáneamente (Figura 2.6).

La convergencia va invariablemente acompañada de estrechamiento o constricción de las pupilas y de acomodación. La tríada de convergencia, constricción pupilar y acomodación a menudo se denomina*reflejo acomodativo*, aunque en el verdadero sentido estos movimientos son meras reacciones asociadas (sincinesia) más que un verdadero reflejo. Cada componente de la tríada facilita la fijación de cerca. La constricción de la pupila es el intento del ojo de formar un dispositivo de cámara estenopeica para poder ver una imagen más clara. La acomodación permite enfocar el objeto en la retina; La convergencia lleva el ojo hacia adentro, hacia el objeto de la mirada.

viendo en profundidad

La capacidad de ver en profundidad nos permite viajar cómodamente en el espacio. Sin él, no podríamos calcular distancias,

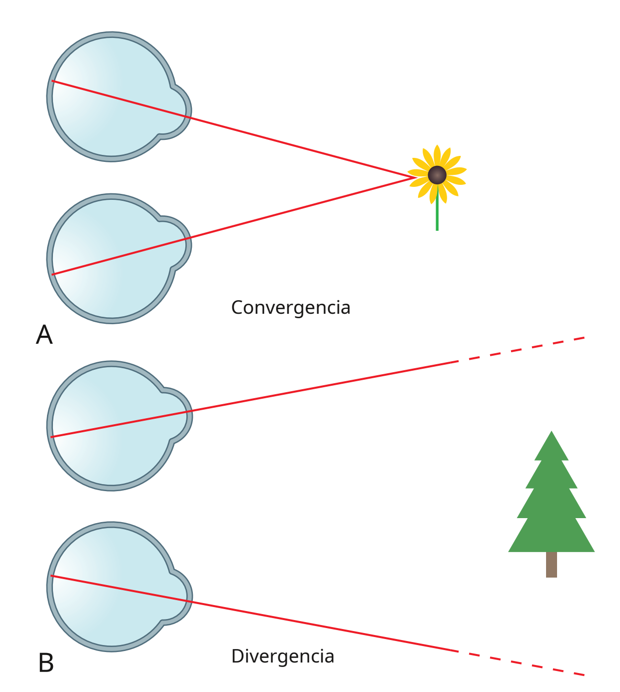


Figura 2.6(A) Convergencia. El ojo se gira hacia el plano de la línea media. (B) Divergencia. El ojo está hacia afuera, lejos del plano de la línea media.

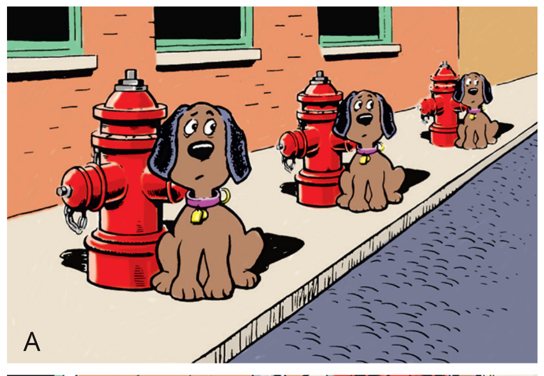




Figura 2.7(A) El artista ha dibujado el cuadro con la perspectiva de profundidad adecuada. Las pistas monoculares incluyen la disminución del tamaño de los perros y la confluencia de líneas hacia un punto. (B) El artista ha ignorado las pistas monoculares habituales, por lo que nuestra apreciación de la profundidad y el tamaño es errónea. El segundo perro parece más grande que el primero, aunque ambos tienen el mismo tamaño.

estimar el tamaño de los objetos que están más allá de nosotros, o evitar chocar con cosas. Sin percepción de profundidad, incluso las tareas más simples serían difíciles. No podríamos alcanzar con precisión el café de la mañana y adelantar a un coche en la autopista equivaldría al suicidio. Afortunadamente, todo el mundo tiene cierta percepción de profundidad, ya sea que tenga un ojo o dos. Aquellos con un solo ojo aprenden a estimar la profundidad con pistas monoculares (Higos. 2.7y2.8). Saben que el punto en la distancia que se convierte en un enorme tren que está junto a ellos en la estación no ha crecido, sino que simplemente se ha acercado. Hay otras pistas además de los cambios en el tamaño de los objetos. Las vías del tren se extienden desde un punto y se vuelven paralelas, el color del tren cambia de un gris azulado brumoso a un verde oscuro, el sonido aumenta y, cuando el tren está al lado, se siente el calor.

- Hay muchas pistas monoculares que facilitan la percepción de la profundidad, incluidas las siguientes: aumento: los objetos bien reconocidos, si se hacen más grandes, se consideran más cercanos
- Confluencia de líneas paralelas a un punto (p. ej., vías de ferrocarril)
- Interposición de sombras
- Neblina gris azulada de objetos a gran distancia.
- Paralaje: si dos objetos situados en diferentes puntos del espacio están alineados y la cabeza del observador se mueve en una dirección, el objeto más cercano parecerá moverse en la dirección opuesta.

Sin embargo, una persona monocular, alejada de un entorno familiar, tendría grandes dificultades para juzgar distancias debido a la falta de un mecanismo intrínseco de percepción de profundidad. Por ejemplo, un piloto tuerto crearía un peligro debido a la dificultad que experimentaría al maniobrar en el espacio sin las pistas monoculares normales.

*estereopsis*es una mayor calidad de visión binocular. Cada ojo ve un objeto desde un ángulo ligeramente diferente, de modo que la fusión de imágenes se produce combinando imágenes ligeramente diferentes. Es la combinación de estas vistas angulares lo que produce la estereopsis. El mismo método se utiliza en fotografía para realizar fotografías tridimensionales. La imagen estereoscópica se toma desde ángulos ligeramente diferentes y luego se ve de esa manera.

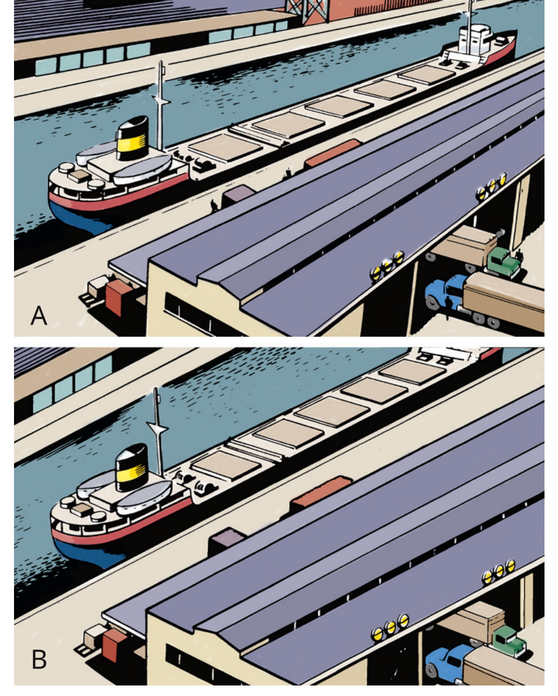


Figura 2.8(A) La escena se dibuja utilizando pistas monoculares normales de distancia, dándole así perspectiva. (B) La misma escena se dibuja sin tener en cuenta las impresiones normales de distancia. Por tanto la escena pierde su perspectiva.

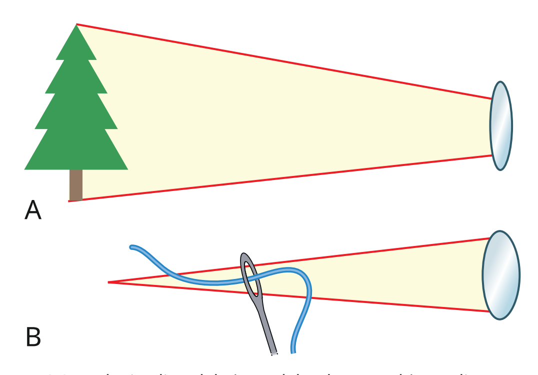


Figura 2.9(A) El cristalino del ojo es delgado para objetos distantes. (B) El cristalino se adapta a los objetos cercanos volviéndose más grueso. Esto aumenta su poder efectivo.



Figura 2.10Medición del punto cercano de acomodación.

Centrándose en cerca (acomodación)

Cualquier objeto puede moverse desde una distancia de unos 20 pies delante de un observador y aún así verse claramente sin necesidad de alojamiento. Esta distancia se llama*rango de enfoque*. Sin embargo, cuando el objeto se acerca a menos de 20 pies, el ojo debe reajustarse continuamente para mantener la imagen del objeto claramente enfocada en la retina. Este reajuste requiere un aumento en la potencia del ojo y se produce mediante un cambio automático en la forma del cristalino en respuesta a una imagen borrosa (Figura 2.9). Este mecanismo de zoom en el ojo es muy activo en los niños; son capaces de ver una letra minúscula claramente enfocada a sólo 7 cm del ojo, mientras que un adulto de 55 años no puede enfocar a menos de 55 cm. El*gama de alojamiento*es la distancia a la que se puede acercar un objeto a un ojo y mantenerlo enfocado. El poder de acomodación de un ojo es el equivalente dióptrico de esta distancia. A los 75 años, este poder es cero.

Tanto el alcance como el poder de acomodación se miden con bastante facilidad (Figura 2.10). Cuando se usa la corrección completa de gafas, es simplemente el punto más cercano en el que se el objetivo acomodaticio (como una letra minúscula) se puede ver claramente. Suele ser igual en ambos ojos. El rango de acomodación se mide en centímetros, mientras que la potencia se convierte en dioptrías (Tabla 2.2).

Este estímulo de acomodación es una imagen borrosa en la retina. A medida que un objeto se acerca al ojo, los rayos de luz que entran en la pupila deben converger continuamente. Este cambio en el poder de enfoque de los ojos se produce mediante la contracción activa del músculo ciliar. La contracción de este músculo hace que las fibras zonulares del cristalino se relajen, lo que a su vez permite que el cristalino del ojo cambie de forma (Figura 2.11). En el niño y en el adulto joven, el cristalino puede moldearse y aumenta su potencia al volverse más grueso y aumentar la curvatura de su espacio anterior. En un adulto, la capacidad del músculo ciliar para contraerse eficazmente disminuye con la edad y el cristalino se vuelve más duro y menos maleable con el paso de los años.

La disminución de la acomodación con la edad, llamada*presbicia*, se soluciona con gafas de lectura o bifocales. Suele aparecer a la edad de 45 años.